

Artículo de investigación

Prototipo de dispositivo de IoT para monitoreo del ruido en contextos no industriales

Prototype IoT device for noise monitoring in non-industrial contexts

Autores:

Yesenia
Castro-Cely^{1*}

Gonzalo Ricardo
Novoa-Fernández²

Belquin Rosany
Aragón-Rentería³

Mayra Alejandra
Espitia-Pineda⁴

Recibido: 05-05-2025

Aceptado: 03-06-2025

Publicado: 22-07-2025

Palabras clave:

ruido en el ambiente de trabajo, monitoreo del ruido, internet de las cosas, gestión de riesgos (DeCS).

Key words:

occupational noise, noise monitoring, internet of things, risk management.

Forma de citar este artículo:

Castro-Cely Y, Novoa-Fernández GR, Aragón-Rentería BR, Espitia-Pineda MA. Prototipo de dispositivo de IoT para monitoreo de ruido en contextos no industriales. Rev. Salud, Trabajo y Sostenibilidad. 2025. 2(1): 43-55. DOI: <https://doi.org/10.63434/30286999.16>

Resumen

La exposición prolongada a altos niveles de ruido representa un riesgo significativo tanto en ambientes laborales industriales como no industriales, lo que puede causar daños irreversibles en la audición y ocasionar efectos no auditivos. La legislación colombiana establece la obligatoriedad de evaluar este riesgo en entornos laborales, para lo cual son de utilidad las tecnologías emergentes.

Objetivo: desarrollar un prototipo de dispositivo basado en internet de las cosas (IoT) para el monitoreo del ruido en contextos laborales no industriales.

Materiales y métodos: el estudio se realizó en dos fases: la primera enfocada al desarrollo del prototipo y la segunda a la prueba piloto. El dispositivo utiliza una tarjeta ESP32, un sensor INMP441 y una pantalla OLED (diodo orgánico emisor de luz). Transmite datos cada 15 segundos a ThingSpeak y permite la visualización en dispositivos móviles. La prueba piloto se realizó en una institución prestadora de servicios de salud, evaluando los niveles de ruido de siete áreas durante la jornada laboral.

Resultados: las pruebas iniciales del dispositivo incluyeron la evaluación de la sensibilidad y el funcionamiento de los componentes y el ajuste de los parámetros de conectividad a internet y a la plataforma web. En la prueba piloto se identificó el nivel de ruido durante

^{1*} Enfermera. Ph. D. en Salud Pública. Universidad Nacional de Colombia, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3350-928X>. CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000050896. Correo: ycastroc@unal.edu.co. Autor de correspondencia.

² Ingeniero mecánico, especialista en Seguridad y Salud en el Trabajo. Fundación Universitaria los Libertadores, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5568-7645>. CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001885077. Correo: grnovoafe@unal.edu.co.

³ Fonoaudióloga, especialista en Seguridad y Salud en el Trabajo. Universidad Antonio Nariño, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6381-4544>. CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001828446. Correo: belquin.aragon00@gmail.com.

⁴ Fisioterapeuta, especialista en Seguridad y Salud en el Trabajo. Universidad Antonio Nariño, Colombia. CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002330354. Correo: maespitia489@outlook.es.

la jornada, así como los patrones de exposición a este y se verificaron los parámetros de funcionamiento del dispositivo en escenarios reales.

Conclusiones: el prototipo demostró buen rendimiento en su funcionamiento, así como en la recolección y transmisión de datos, permitiendo el monitoreo continuo, remoto y de manera económica. Este representa un aporte innovador a la gestión del riesgo laboral y facilita la implementación de tecnologías emergentes en el marco de la industria 4.0.

Abstract

Prolonged exposure to high noise levels represents a significant risk in both industrial and non-industrial work environments. It can cause irreversible hearing damage and non-auditory effects. Colombian legislation establishes the obligation to evaluate this risk in work environments where emerging emerging technologies are useful.

Objective: to develop an Internet of Things device prototype for monitoring noise in non-industrial work contexts.

Materials and methods: to perform simulations to evaluate some of these tools and determine their characteristics. These are illustrated by examples for different scenarios: 1) Compartment fires: Consolidated Model of Fire and Smoke Transport, Fire Dynamic Simulator, FireFoam. 2) Ventilation after a fire in underground spaces: VentFIRE and MFIRE. 3) Vegetation cover: Fire Dynamic Simulator and FlamMap. 4) Fire by ponding: Fire Dynamic Simulator. 5) Explosions: Ansys Fluent, Flame Acceleration Simulator, Cantera, Shock and Detonation Toolbox and XiFoam.

Results: Initial device tests included sensitivity assessment, component functioning evaluation, and adjustment of internet connectivity parameters and web platform settings. The pilot test identified the noise level during the day and noise exposure patterns and verified the device's performance parameters in real scenarios.

Conclusions: The prototype demonstrated good performance in operation, data collection, and transmission, allowing continuous, remote, and economical monitoring. It represents an innovative contribution to occupational risk management and facilitates the implementation of emerging technologies within the framework of Industry 4.0.

Introducción

El ruido es uno de los peligros más comunes en los lugares de trabajo. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Internacional del Trabajo (OIT), después de analizar los datos provenientes de 38 países, estimaron que la prevalencia agrupada de cualquier exposición ocupacional al ruido es de 0,17 (intervalo de confianza - IC del 95 %: 0,16 a 0,19) (1). Tal exposición es frecuente en contextos industriales o en actividades laborales específicas como, por ejemplo, carpintería, reparación o mantenimiento, transporte, entre otras, debido a las características de los procesos productivos, la presencia de maquinaria o equipos pesados que generan altos niveles de emisiones sonoras durante su operación (1).

Sin embargo, el ruido también está presente en otros contextos laborales y extralaborales (ruido ambiental), por lo cual es un peligro relevante para la salud laboral y la salud pública. La exposición a este fenómeno en lugares de trabajo no vinculados a la actividad industrial (es decir, que no involucran operaciones fabriles o manufactureras) se debe, principalmente a la contaminación ambiental por sonido asociado a la proximidad con entornos estridentes como avenidas, zonas portuarias o industriales, espacios con aglomeraciones de público, entre otros.

La exposición prolongada al ruido en niveles cercanos o superiores a los 85 decibeles (dB) provoca daños mecánicos en las células ciliadas y otras estructuras de la cóclea, lo que afecta la microcirculación en el oído interno y genera vasoconstricción de los vasos sanguíneos cocleares.

Por otra parte, los procesos isquémicos y metabólicos que ocurren en el oído interno derivados de la exposición a altos niveles de contaminación acústica generan radicales libres que, a su vez, ocasionan daños en el ácido desoxirribonucleico (ADN) y la peroxidación de proteínas y lípidos en esas estructuras (2).

El efecto más grave de la exposición ocupacional al ruido es el deterioro irreversible de la capacidad auditiva o Hipoacusia Neurosensorial Inducida por Ruido (HNIR), generada mediante la exposición prolongada y continua a sonidos fuertes o como resultado de una sola exposición a un sonido con nivel muy alto (trauma acústico) (2,3). La pérdida auditiva, dependiendo de su magnitud, provoca que la persona afectada experimente limitaciones en la comunicación, dificultades para distinguir sonidos, discapacidad, aislamiento social y alteraciones en su rendimiento laboral (4).

Adicionalmente, la exposición continua al ruido puede generar cambio temporal en los umbrales audiométricos, tinnitus, hiperacusia y/o vértigo (3). Los efectos no se limitan al oído, puesto que se han documentado afecciones no auditivas como trastornos del sueño (5), trastornos metabólicos (6), enfermedades cardiovasculares (7), estrés (8), deterioro cognitivo (8), disfonía funcional (9), entre otros; que afectan considerablemente la salud física y mental, el desempeño laboral y la calidad de vida de la población ocupacionalmente expuesta (2,3).

En la legislación colombiana, el monitoreo del ruido en el lugar de trabajo está reglamentado por la Ley 9 de 1979, la Resolución 2400 de 1979, la Resolución 1016 de 1989, el Decreto Ley 1295 de 1994 y el Decreto 1072 de 2015. Estos actos normativos exigen la implementación de medidas de evaluación de la intensidad y tiempo de exposición para determinar la peligrosidad y nivel de riesgo; asimismo, establecen los 85 dB como valor límite permisible para exposición ocupacional al ruido

continuo durante ocho horas. Por otra parte, instauran la obligatoriedad de implementar medidas preventivas y de control para proteger la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos. Por lo anterior, la evaluación o el monitoreo del ruido, incluidos los contextos no industriales, es considerado un asunto prioritario.

La medición del nivel sonoro de las áreas de trabajo se realiza habitualmente por medio de dosimetría o sonometría, a partir de los cuales se puede establecer el grado de exposición del trabajador determinando así las áreas de riesgo (10). Las tecnologías actuales, entre ellas el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés), permiten la medición precisa de los múltiples parámetros del ruido (nivel sonoro, contenido espectral, intermitencia e impulsividad) con lo cual se pueden establecer los perfiles de exposición en las áreas de trabajo. A su vez, se constituyen en una herramienta valiosa para la implementación de medidas de control y la gestión del riesgo con menor tiempo y esfuerzo (11,12).

Teniendo en cuenta que la exposición a la contaminación acústica es un factor ubicuo en los lugares de trabajo y que los efectos auditivos y no auditivos afectan considerablemente la salud y calidad de vida de los trabajadores, el objetivo de este trabajo fue desarrollar un prototipo de un dispositivo de Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo del ruido en contextos no industriales, con el propósito de contribuir a la valoración objetiva de la exposición ocupacional y como una medida proactiva para la implementación de medidas de control y gestión del riesgo.

Material y métodos

Este estudio se desarrolló en dos fases: la primera, enfocada en el desarrollo del prototipo de un dispositivo de Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo del ruido en contextos no industriales,

y la segunda, correspondió a la prueba piloto del dispositivo en un escenario real.

Fase 1. Desarrollo del prototipo

Para el desarrollo del prototipo se siguió la secuencia metodológica del proceso frontal sugerida por Ulrich & Eppinger (13): **a) se establecieron las especificaciones objetivo:** se determinó la necesidad de realizar la medición de nivel de ruido ambiental en contextos no industriales; **b) se generaron conceptos:** realizando la exploración de universo de conceptos o soluciones técnicas que pueden satisfacer la necesidad identificada; **c) se seleccionó el concepto:** optando por el desarrollo de un prototipo de un dispositivo de Internet de las Cosas para el monitoreo del ruido en contextos no industriales; **d) se realizó la prueba de concepto:** por medio de experimentos de monitoreo de nivel sonoro para validar la sensibilidad y el funcionamiento de los componentes; **e) se establecieron las especificaciones finales:** el prototipo debería medir el nivel del ruido y promediarlo para toda la jornada y el último minuto, conectarse a internet y facilitar el monitoreo remoto; **f) modelado y construcción del prototipo:** se realizó el montaje del dispositivo y la configuración para su uso en condiciones reales.

Fase 2. Prueba piloto del prototipo en un escenario real

La prueba piloto del dispositivo de IoT para el monitoreo del ruido tenía por objetivo la verificación de los parámetros de funcionamiento del dispositivo en escenarios reales. Esta se realizó en una institución prestadora de servicios de salud (IPS) de la ciudad de Buenaventura, Valle del Cauca, ubicada en el distrito portuario de la ciudad, sobre una vía principal de gran afluencia de transporte público y de carga pesada. La IPS fue seleccionada atendiendo a su actividad económica (desarrollo de actividades no industriales) y su

ubicación en un entorno con altos niveles de ruido ambiental. Dicha IPS presta servicios de atención al público durante toda la jornada laboral, con incremento en el número de usuarios en algunos momentos del día. La prueba piloto incluyó la evaluación de siete áreas de trabajo, en las cuales se concentraban las actividades laborales y había presencia de trabajadores durante toda la jornada (recepción, consultorios 1 y 2, toma de muestras, optometría, laboratorio y audiometría), se excluyeron las áreas administrativas y de descanso y cada área fue evaluada durante una jornada de trabajo (6:30 a.m. a 3:30 p.m.). El dispositivo de IoT fue ubicado a una altura de un metro en la zona central del recinto evaluado.

Una vez se obtuvo la autorización de la IPS para la realización de la prueba piloto, no fue necesario la obtención de consentimiento informado por parte de los trabajadores, en tanto que la evaluación de ruido no incluía evaluaciones individuales. Adicionalmente, el dispositivo solo captura el nivel del ruido ambiental y no las conversaciones personales.

Para el desarrollo del dispositivo se utilizaron herramientas gratuitas tales como *software* (Visual Studio Code), lenguaje de programación (C++), librerías y aplicativos web (ThingSpeak, ThingView). Por consiguiente, como retribución a la IPS, al finalizar la prueba piloto se entregaron recomendaciones técnicas para la gestión del riesgo y control del ruido elaboradas por un profesional de fonoaudiología y un ingeniero mecánico con licencia en Seguridad y Salud en el Trabajo.

Resultados

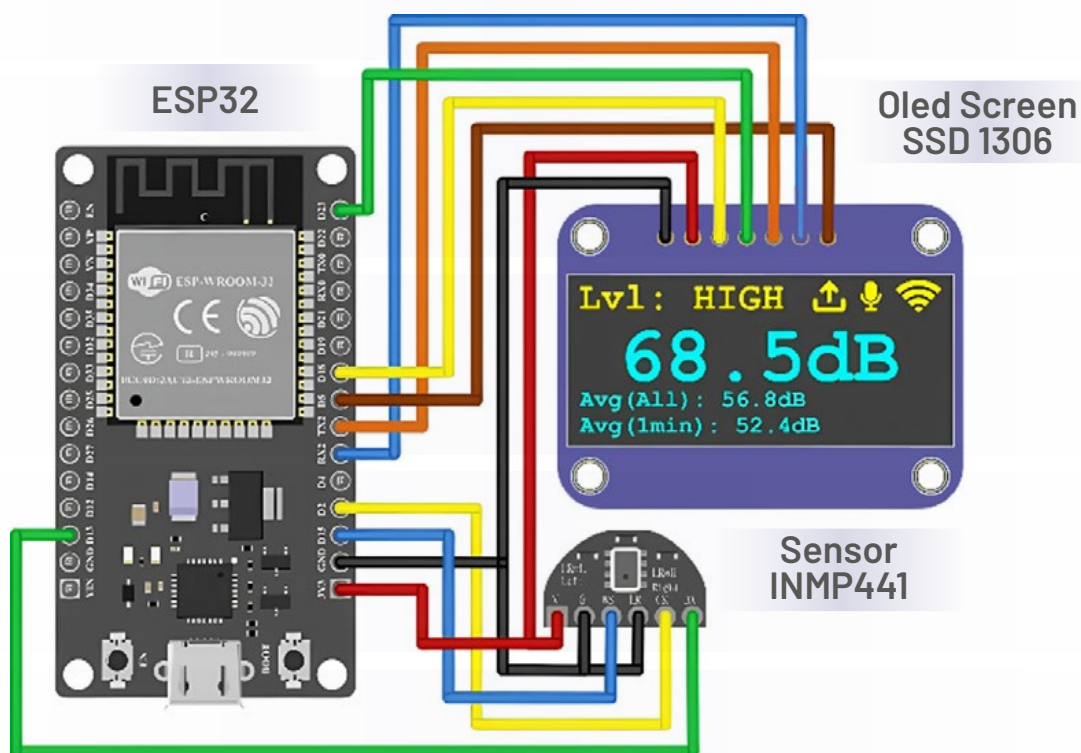
Fase 1. Desarrollo del prototipo

Para el prototipo se utilizó una tarjeta de desarrollo ESP32 como microcontrolador, un sensor de sonido INMP441 y una pantalla OLED (SSD1306 de 128x64), mientras que el código del

programa se realizó en C++. Los detalles técnicos del desarrollo son descritos por Novoa (14) en www.github.com/chalonov/iot-esp32-noise-monitor. Es así como en la figura 1, el diagrama muestra las conexiones entre el microcontrolador, el sensor y la pantalla OLED, las cuales pueden ser utilizadas para replicar el prototipo.

En la pantalla OLED se muestra el nivel de ruido (Lvl), el promedio para toda la jornada (Avg All) y el promedio para el último minuto (Avg 1 min). Del mismo modo, los íconos de la parte superior derecha de la pantalla indican la conexión a ThingSpeak, el funcionamiento del micrófono y la conexión a la red de WiFi.

Figura 1. Diagrama del dispositivo de IoT para el monitoreo del ruido en contextos industriales



Fuente: elaboración propia.

El dispositivo se conectó a una cuenta de ThingSpeak, un servicio gratuito de MathWorks, que permite la recolección, visualización, análisis y descarga de los datos. Adicionalmente, la consulta de la información se podía realizar a través de dispositivos móviles (teléfonos o tabletas) mediante la aplicación ThingView (figura 2). Los datos recopilados por el dispositivo se transmitían y almacenaban cada 15 segundos en una base de datos en la nube; el prototipo

se configuró para conectarse automáticamente a la red WiFi y almacenar la información de forma temporal en caso de que se perdiera la conectividad a internet. La pantalla OLED facilitaba la lectura del nivel promedio de ruido del último segundo, el último minuto y el promedio de la sesión (desde que se conecta a una fuente de alimentación eléctrica). Además, el usuario podía verificar la conexión a internet y operatividad del dispositivo.



Las pruebas iniciales del dispositivo se llevaron a cabo en un entorno de oficina. Y los experimentos de monitoreo del nivel de ruido se realizaron utilizando diferentes tipos de sonido (por ejemplo, aplausos, música, golpes, gritos, etc.) para validar la sensibilidad y el funcionamiento de los componentes. Los resultados fueron contrastados con los decibeles mostrados por un sonómetro, encontrando una variabilidad en las mediciones menor al 5 % en el rango de uso, la cual se considera baja y puede ser explicada por las diferencias en la sensibilidad del micrófono del sonómetro y el prototipo. Adicionalmente, se ajustaron y probaron los parámetros de conectividad a internet y a la plataforma web.

Fase 2. Prueba piloto del prototipo en un escenario real

Como resultado de la prueba piloto, se compararon los niveles de exposición al ruido de cada área de trabajo evaluada con el prototipo. En ese sentido, se identificó que la recepción y el consultorio 1 son las áreas con el mayor promedio de ruido durante toda la jornada con 64,2 dB debido a su proximidad a la entrada principal de la IPS. Es necesario destacar que en todas las áreas de trabajo los niveles de ruido fueron mayores a 50dB (ver tabla 1), superando el límite recomendado por la Resolución 627 del 2006, que establece que en las instituciones hospitalarias o de salud no se deberían superar los 45 dB.

Tabla 1. Promedio de ruido durante la jornada laboral (dB)

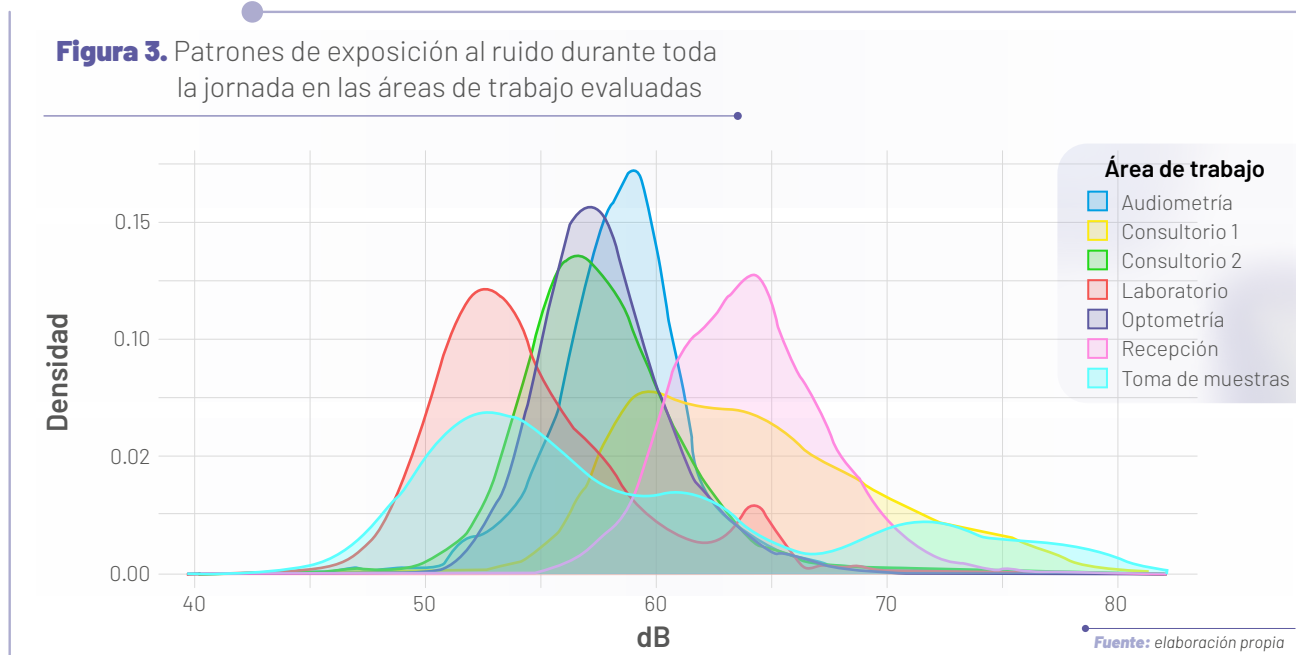
Área de trabajo evaluada	Ruido (dB)
Recepción	64,2
Consultorio 1	64,2
Toma de muestras	59,0
Audiometría	58,7
Optometría	57,9
Consultorio 2	57,6
Laboratorio	54,6

Fuente: elaboración propia.

Al comparar los patrones de exposición al ruido durante la jornada, se identificaron características distintivas en cada área, que reflejan el volumen de usuarios que permanecen en las áreas por las actividades desarrolladas, por ejemplo, procesamiento de muestras en el laboratorio clínico (ver figura 3).

Al finalizar la prueba piloto, en cumplimiento de los criterios éticos, se entregaron a la IPS recomendaciones técnicas para la gestión del riesgo y control del ruido que incluyeron: controles de ingeniería centrados en la instalación de un brazo hidráulico en la puerta principal y de barreras acústicas

fijas y móviles en el área de recepción, así como el recubrimiento con espuma acústica de las paredes del consultorio de audiometría; controles administrativos enfocados en el establecimiento de un programa de conservación auditiva, pausas auditivas, recomendaciones de rotación de personal y capacitación sobre pautas de higiene vocal y auditiva; y, finalmente, elementos de protección personal auditiva de atenuación media (premoldeado o de inserción) para los trabajadores del área de laboratorio clínico, durante periodos de funcionamiento de máquinas generadoras de ruido como la centrifugadora.



En relación con la verificación de parámetros de funcionamiento y los aspectos técnicos de la prueba piloto, se constató el funcionamiento del dispositivo durante toda la jornada laboral, la conexión automática a la red WiFi y el envío de los datos, a pesar de interrupciones en la conexión a internet. Durante la prueba no fue necesaria la realización de asistencia técnica, la modificación de la configuración de los componentes o la actualización del código.

No obstante, se identificaron varias oportunidades de mejora del dispositivo de IoT para el monitoreo del ruido en contextos no industriales, que incluyen la incorporación de sistemas de alerta y notificación para cuando se superen los límites permisibles, así como ajustes en la configuración de los componentes y del contenedor, de tal manera que se pueda transportar fácilmente sin causar deterioro o desprendimiento de los componentes o utilizar en espacios con condiciones ambientales adversas (presencia de altos niveles de humedad, material particulado, etc.). Además, podría considerarse un sistema de ali-

mentación portátil (baterías, *powerbanks*, etc.), debido a que el prototipo requiere una fuente de alimentación de ~5V (el voltaje que suministra el cargador de un teléfono móvil).

Discusión

El control del ruido es fundamental para reducir la exposición ocupacional, para lo cual es necesario el monitoreo e identificación de sus niveles en el lugar de trabajo (1). Habitualmente, la evaluación del ruido es priorizada en contextos industriales, actividades u ocupaciones específicas. No obstante, la contaminación sonora es un factor común en todos los lugares por lo que la exposición al ruido debería evaluarse de forma objetiva a través de sonometría y dosimetría, aun cuando no sea un factor de riesgo común en la actividad o sector económico.

De esta manera, la identificación oportuna de los cambios tempranos en el umbral de audición de los trabajadores permitirá a las organizaciones implementar medidas de control para la re-

ducción del ruido a niveles seguros. De ahí que la inacción puede llevar a que los trabajadores experimenten efectos auditivos o no auditivos, afectaciones en su desempeño y en su calidad de vida (2,3).

Este estudio provee una alternativa de fácil implementación para el monitoreo de la exposición al ruido en contextos no industriales, utilizando tecnologías emergentes. A su vez, constituye un primer acercamiento en Colombia al desarrollo de dispositivos de IoT para la evaluación de las emisiones sonoras en contextos laborales, en tanto que los estudios desarrollados en el país, reportados en la literatura, se enfocan en la medición del ruido ambiental predominantemente en zonas urbanas (15,16).

Precisamente, el dispositivo de IoT permite una evaluación inicial de los niveles de ruido ambiental y provee información para la toma de decisiones y la priorización de este asunto en la gestión del riesgo en la organización.

Los resultados del monitoreo obtenidos con el prototipo ofrecen una aproximación a los niveles y patrones de exposición, a partir de los cuales se puede determinar la necesidad de un estudio higiénico de ruido y la adopción de medidas de control para evitar la sobreexposición y la reducción de este a niveles seguros, es decir, que no supere los valores límites permisibles señalados por la Resolución 1792 de 1990 y la Resolución 067 de 2006.

Por otra parte, aunque la prueba piloto se realizó en una institución prestadora de servicios de salud, el prototipo fue desarrollado para el monitoreo de la exposición al ruido en contextos no industriales, en otras palabras, puede ser utilizado en diferentes entornos laborales donde no se desarrollen actividades productivas industriales,

pero se perciba o sospeche exposición a niveles elevados de ruido.

Como ventajas de este dispositivo de IoT se destacan la posibilidad de evaluar el ruido durante toda la jornada y monitorear continuamente, y de forma precisa, el sonido ambiental, lo cual es útil para establecer los perfiles de exposición en las áreas de trabajo y verificar la eficacia de los controles existentes. Por otra parte, el dispositivo de IoT realiza el monitoreo en tiempo real del nivel de ruido, proporcionando la visualización y análisis de la información a través de dispositivos móviles. Esto permite una rápida identificación de áreas de trabajo y momentos críticos de exposición durante la jornada laboral facilitando, de esta manera, la intervención oportuna.

Adicionalmente, al utilizar internet de las cosas, la mejora del prototipo puede ofrecer la opción de realizar mediciones simultáneas en diferentes áreas al conectarse con una red de sensores (escalabilidad) ampliando el rango de acción, reduciendo el tiempo de muestreo y optimizando el uso de recursos (17). Además, la medición constante del nivel del ruido y el almacenamiento de los datos en la nube facilita la generación de informes por horarios, áreas o intervalos de tiempo (días, horas, minutos, etc.) que aporta información detallada sobre la exposición al ruido. Esto ayuda a la identificación de peligros, la planificación de intervenciones y la gestión más sencilla de las condiciones de *confort* acústico, en tanto que orienta la implementación de medidas de control en la fuente, el medio y el individuo, así como la verificación rápida de la efectividad de estas medidas en la reducción de los niveles de ruido (18).

En consecuencia, la utilización de sistemas de IoT permite mejorar los entornos de trabajo,

contribuye a incrementar el bienestar de los trabajadores y reduce los riesgos para la salud en las organizaciones (19).

La configuración del prototipo desarrollado y la instalación para su uso no requiere de conocimientos especializados por parte del usuario, basta con tener conocimientos básicos de programación. Lo anterior se considera una ventaja dado que el monitoreo de los niveles de ruido puede realizarse de manera remota por parte del equipo de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) o de higiene industrial, lo cual evita desplazamientos, reduce los costos y facilita la aplicación de soluciones tecnológicas en organizaciones ubicadas en áreas rurales o apartadas, en donde no es posible acceder a servicios especializados en tales ámbitos, pero que sí cuentan con cobertura de internet. De igual manera, las características del prototipo facilitan el soporte técnico o reconfiguración de los parámetros de funcionamiento por parte del usuario o por parte del desarrollador, de manera remota.

En la actualidad, es posible monitorizar los niveles de ruido utilizando aplicaciones en teléfonos y relojes inteligentes, sin embargo, estos sistemas no están diseñados para que funcionen de manera continua y no permiten el acceso a los datos de forma detallada o completa (20).

Los sistemas de monitoreo del ruido basados en IoT son una solución innovadora que permite monitorear y evaluar en tiempo real, facilitando la interconectividad entre diferentes dispositivos y con sistemas de oficinas inteligentes, así como automatizar el proceso de medición acústica y aumentar la cobertura espacio-temporal de las mediciones de ruido (21). Adicionalmente, ofrecen posibilidades para la identificación de fuentes de emisión de ruido, elaboración de ma-

pas acústicos y generación de pronósticos de exposición utilizando inteligencia artificial con técnicas de aprendizaje de máquina (22). Por otra parte, los sistemas de monitoreo que utilizan IoT y las tecnologías móviles ofrecen una alternativa rentable debido a su fácil configuración e instalación y la compatibilidad con aplicaciones móviles para la visualización y el análisis de datos (20).

Las aplicaciones de IoT en la gestión del riesgo en el trabajo no se limitan solamente al monitoreo del ruido, también pueden aplicarse para el seguimiento de temperatura, humedad, calidad de aire, radiación ultravioleta (UV), entre otros de forma separada o simultánea (23,24). La adopción de herramientas de IoT en los lugares de trabajo puede fortalecer los sistemas de alerta y monitoreo existentes con las mejoras en seguridad y, además, mejorar los flujos de información de SST y optimizar los procesos de toma de decisiones por parte de las organizaciones (25).

A partir de los resultados de este estudio se pueden desarrollar nuevas investigaciones orientadas a validar y comparar la precisión y exactitud de las mediciones obtenidas con dispositivos de IoT frente a equipos certificados de sonometría y dosimetría. Asimismo, sería relevante evaluar la relación costo-efectividad de estas tecnologías emergentes aplicadas a la Seguridad y Salud en el Trabajo. En ese sentido, se sugiere desarrollar investigaciones que evalúen la implementación de redes de sensores en diferentes tipos de organizaciones y sectores económicos que permitan obtener información que puede ser insumo para la actualización normativa y de protocolos para la evaluación del ruido ocupacional o estudios que complementen la funcionalidad de los dispositivos de IoT con la integración de algoritmos de aprendizaje automático, buscando la predicción de

los patrones de ruido, la generación de alertas y la identificación automática de las fuentes de emisión.

Conclusiones

El prototipo de dispositivo de IoT para el monitoreo del ruido en contextos no industriales ha demostrado un buen rendimiento en términos de su funcionamiento sin interrupciones durante toda la jornada laboral, recolección continua de los niveles de ruido, transmisión de los datos a ThingSpeak y la representación de los valores medidos del nivel de ruido en tiempo real en la pantalla OLED. Su principal ventaja, en comparación con otras alternativas para la evaluación del ruido, es la posibilidad de monitorear la exposición a este de forma continua, remota y económica. Además, el dispositivo componente es de bajo costo, de fácil acceso y el montaje es sencillo de replicar, lo que facilita su producción y la escalabilidad al aumentar el alcance y el número de sensores en la red.

El desarrollo del dispositivo de IoT para el monitoreo de ruido es un aporte novedoso a la gestión del riesgo en los entornos laborales, facilita el aprovechamiento en los lugares de trabajo

de las tecnologías emergentes y acelera los procesos de transformación digital que exige la industria 4.0.

Limitaciones

Este estudio se centra en el desarrollo técnico y la prueba piloto de un dispositivo de IoT; no evalúa el impacto real del ruido en la salud de los trabajadores o la implementación de las recomendaciones en la reducción de este.

Adicionalmente, se identificaron como limitaciones técnicas en el desarrollo del dispositivo la dificultad de acceder a equipos certificados para la medición del ruido durante el proceso de validación y evaluación de la precisión del mismo. Asimismo, para el desarrollo del prototipo se priorizó el uso de componentes de bajo costo y *software* libre, sin embargo, pueden existir en el mercado dispositivos o aplicativos que ofrezcan mayor sensibilidad o funcionalidad de los componentes.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses y no haber recibido financiación para el desarrollo de la investigación.

Referencias bibliográficas

1. Teixeira LR, Pega F, De Abreu W, De Almeida MS, De Andrade CAF, Azevedo TM, et al. The prevalence of occupational exposure to noise: a systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO joint estimates of the work-related burden of disease and injury. *Environ Int* [Internet]. 2021;154:106380. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106380>
2. Themann CL, Masterson EA. Occupational noise exposure: a review of its effects, epidemiology, and impact with recommendations for reducing its burden. *J Acoust Soc Am* [Internet]. 2019;146(5):3879-905. <https://doi.org/10.1121/1.5134465>
3. Pretzsch A, Seidler A, Hegewald J. Health effects of occupational noise. *Curr Pollut Rep* [Internet]. 2021;7(3):344-58. <https://doi.org/10.1007/s40726-021-00194-4>
4. Gannouni N, Wang J, Rhouma KB, Mhamdi A. Human health effects associated with occupational and environmental acoustic trauma. *Health Sci Rev* [Internet]. 2024;12:100181. <https://doi.org/10.1016/j.hsr.2024.100181>
5. Yazdanirad S, Khoshakhlagh AH, Al Sulaie S, Drake CL, Wickwire EM. The effects of occupational noise on sleep: a systematic review. *Sleep Med Rev* [Internet]. 2023;72:101846. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2023.101846>
6. Huang T, Chan TC, Huang YJ, Pan WC. The Association between noise exposure and metabolic syndrome: a longitudinal cohort study in Taiwan. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2020 [citado 3 de mayo de 2025];17(12):4236. <https://doi.org/10.3390/ijerph17124236>
7. Münzel T, Daiber A, Engelmann N, Rössli M, Kuntic M, Banks JL. Noise causes cardiovascular disease: it's time to act. *J Expo Sci Environ Epidemiol* [Internet]. 2024;35(1):24-33. <https://doi.org/10.1038/s41370-024-00732-4>
8. Mucci N, Traversini V, Lulli LG, Vimercati L, Rapisarda V, Galea RP, et al. Neurobehavioral alterations in occupational noise exposure: a systematic review. *Sustainability* [Internet]. 2021;13(21):12224. <https://doi.org/10.3390/su132112224>
9. Jaume DM i N, Assumpció OP, Elena Juanola P, Carme CC, Maite MS. El uso profesional de la voz [Internet]. Generalitat de Catalunya Departamento de empresa y empleo; 2022. Disponible en: https://treball.gencat.cat/web/.content/09_-_seguretat_i_salut_laboral/publicacions/imatges/us_professional_veu_cast.pdf
10. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Noise and hearing loss [Internet]. Preventing occupational noise-induced hearing loss. 2025. Disponible en: <https://www.cdc.gov/niosh/noise/prevent/index.html>
11. Anachkova M, Domazetovska S, Petreski Z, Gavriloski V. Design of low-cost wireless noise monitoring sensor unit based on IoT concept. *J Vibroengineering* [Internet]. 2021;23(4):1056-64. <https://doi.org/10.21595/jve.2021.21709>
12. Salazar F, Castañeda J, Revelo M, Luza C. Noise pollution control using Internet of Things (IoT) solutions. *Innov Dev Eng Appl Sci* [Internet]. 2023;5(1):13. <https://doi.org/10.53358/ideas.v5i1.902>
13. Ulrich KT, Eppinger SD. Diseño y desarrollo de productos. Quinta ed. México D.F.: McGraw-Hill Education; 2013.
14. Novoa Fernández GR. ESP32 IoT Noise Monitor [Internet]. GitHub; 2024. Disponible en: <https://github.com/chalonov/iot-esp32-noise-monitor>
15. Quintero Lugo A, Herrera Londoño S, Álvarez Gaspar CA. Sistema de monitoreo de la intensidad de ruido en zonas de hospitalización por medio del internet de las cosas. 2023 p. 1-10. <https://doi.org/10.26507/paper.3131>
16. Chanchi GE, Saba M. Sistema IoT para la monitorización y análisis de niveles de ruido. *Espacios* [Internet]. 2020;41(50):39-50. <https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n50p04>
17. Javed A, Malhi A, Kinnunen T, Framling K. Scalable IoT platform for heterogeneous devices in smart environments. *IEEE Access* [Internet]. 2020;8:211973-85. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3039368>

18. Soori M, Arezoo B, Dastres R. Internet of things for smart factories in industry 4.0, a review. *Internet Things Cyber-Phys Syst* [Internet]. 2023;3:192-204. <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.04.006>
19. Wu F, Wu T, Yuce MR. An Internet-of-Things (IoT) network system for connected safety and health monitoring applications. *Sensors* [Internet]. 2019;19(1):21. <https://doi.org/10.3390/s19010021>
20. Marques G, Pitarma R. A real-time noise monitoring system based on internet of things for enhanced acoustic comfort and occupational health. *IEEE Access* [Internet]. 2020;8:139741-55. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3012919>
21. Gunatilaka D. An IoT-enabled acoustic sensing platform for noise pollution monitoring. En: 2021 IEEE 12th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON) [Internet]. New York, NY, USA: IEEE; 2021. p. 0383-9. <https://doi.org/10.1109/UEMCON53757.2021.9666534>
22. Liu Y, Shu L, Huo Z, Tsang KF, Hancke GP. Collaborative industrial internet of things for noise mapping: prospects and research opportunities. *IEEE Ind Electron Mag* [Internet]. 2021;15(2):52-64. <https://doi.org/10.1109/MIE.2020.3040162>
23. Sundaram D, Nordin INAM, Khamis N, Zulkarnain N, Razif MRM, Abidin AFZ. Development of real-time IOT based air and noise monitoring system. *Alinteri J Agric Sci* [Internet]. 2021;36(1):500-6. <https://doi.org/10.47059/alinteri/V36I1/AJAS21071>
24. Mishra A. Internet of Things-based sensors for environmental monitoring. En: emerging sensors for environmental monitoring [Internet]. Elsevier; 2025:167-86. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13894-2.00006-3>
25. Zorzenon R, Lizarelli FL, Braatz D. The impact of the internet of things on health and safety performance at work: an empirical study of Brazilian companies. *Saf Sci* [Internet]. 2025;187:106866. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2025.106866>